

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO E INGENIERA ELECTRÓNICA

TEMA:
ANÁLISIS DE EFICIENCIA ESPECTRAL EN LAS BANDAS LTE PARA
INCLUSIÓN DE SEÑALES 5G USANDO OFDM

AUTORES:
CARLOS FERNANDO TIXI QUISAGUANO
JOSSELYN KARINA TOAPANTA RAMOS

TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN

Quito, febrero del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Carlos Fernando Tixi Quisaguano y Josselyn Karina Toapanta Ramos con documento de identificación N° 1722515739 y N° 1721925392, respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “ANÁLISIS DE EFICIENCIA ESPECTRAL EN LAS BANDAS LTE PARA INCLUSIÓN DE SEÑALES 5G USANDO OFDM”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Electrónico e Ingeniera Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservarnos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, febrero del 2019.



Carlos Fernando Tixi Quisaguano
C.I. 1722515739

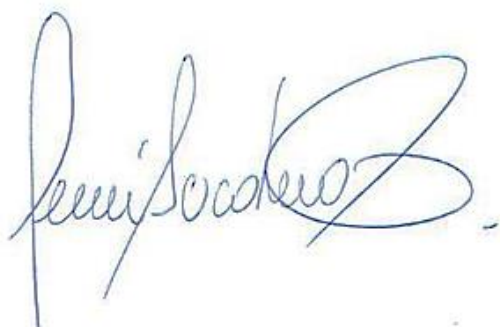


Josselyn Karina Toapanta Ramos
C.I. 1721925392

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, “ANÁLISIS DE EFICIENCIA ESPECTRAL EN LAS BANDAS LTE PARA INCLUSIÓN DE SEÑALES 5G USANDO OFDM” realizado por Carlos Fernando Tixi Quisaguano y Josselyn Karina Toapanta Ramos, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2019.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Lenin Aucatoma', with a stylized flourish at the end.

Lenin Wladimir Aucatoma Guamán
C.I. 1717985830

DEDICATORIA

Dedico este artículo académico a mi padre y madre Carlos y Norma, que gracias a su esfuerzo constante, trabajo y dedicación a su hogar me permitieron alcanzar uno más de los eslabones en mi carrera educativa. A mis tíos Hugo y Sonia que han sabido llenarme de consejos y ejemplos, de que la constancia y el trabajo duro acarrearán grandes recompensas, y a mis hermanos Alejandra y Edison, por su admiración y el amor que me entregan constantemente.

Carlos Fernando Tixi Quisaguano

A mis padres Luis y Lastenia por ser un pilar fundamental en mi formación ya que me han entregado su apoyo y amor incondicional guiándome hacia un mejor mañana con sus consejos y enseñanzas. A mis hermanos, Fernando y Génesis por ser un ejemplo de valor y superación tanto académico como personal. A mí Antonella por ser aquella personita especial en mi vida, quien me motiva a ser mejor cada día con sus locuras junto con Ronni. A mis sobrinos y a aquellos amigos incondicionales que han estado presentes junto a mí compartiendo anécdotas y experiencias.

Josselyn Karina Toapanta Ramos

ANÁLISIS DE EFICIENCIA ESPECTRAL EN LAS BANDAS LTE PARA INCLUSIÓN DE SEÑALES 5G USANDO OFDM

Carlos FernandoTixi Quisaguano¹, Josselyn Karina Toapanta Ramos².

Resumen

Se analiza la asignación de las bandas de frecuencias LTE en el espectro radioeléctrico del Ecuador y se determina los espacios que se encuentran libres para realizar una reutilización de frecuencias con una adaptación de señales que tengan características 5G en propiedades de alta velocidad y baja latencia. Se establece 1750MHz como frecuencia libre, por el hecho de que así se encuentra en la asignación de canales de ARCOTEL para ejecutar la transmisión y recepción de la señal adaptada. Para esto, y como fase experimental se utilizará OFDM como técnica de acceso al medio. Es decir, adaptar OFDM para ver si se puede encontrar baja latencia y alta velocidad.

Palabras Clave: BER, Calidad de Imagen, Eficiencia Espectral, OFDM, OSMA, Velocidad.

Abstract

The allocation of the LTE frequency bands in the Ecuadorian radio spectrum is analyzed and the spaces that are free to perform a frequency reuse with an adaptation of signals having 5G characteristics in high speed and low latency properties are determined. 1750MHz is established as a free frequency by the fact that this is in the ARCOTEL channel assignment to execute the transmission and reception of the adapted signal. For this, and as an experimental phase, OFDM will be used as a medium access technique. That is, adapt OFDM to see if you can find low latency and high speed.

Keywords: BER, Picture Quality, Spectral Efficiency, OFDM, AMSO, Speed.

1. Introducción

A lo largo de los años la telefonía en el Ecuador ha recorrido un gran proceso evolutivo tecnológico, siendo LTE al presente año la tecnología de mayor uso [1] por los beneficios que brinda y a su vez por el manejo de dispositivos nuevos que trabajan con 4G. OFDM, Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, es un requisito clave en LTE debido a que esta técnica posee características de alta eficiencia espectral y resistencia a interferencias [2], siendo ideal para aplicaciones que transportan a altas velocidades datos que son importantes en las comunicaciones actuales. [3]

El espectro radioeléctrico es un recurso limitado y público gestionado por el Estado. En el Ecuador es regularizado a base del cuadro de atribuciones de bandas de frecuencias y del reglamento de radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Comunicaciones (UIT) para que sea utilizado de forma adecuada y evitar que se produzcan interferencias perjudiciales a las frecuencias de otras estaciones de servicio ya sea nivel nacional o internacional, manteniendo de esta forma el crecimiento tecnológico y económico. [4] En el país CONECEL S.A., OTECEL S.A. y CNT E.P. son las principales operadoras y prestadoras de

¹ Estudiante de Ingeniería Electrónica – Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador
Correo electrónico: ctixiq@est.ups.edu.ec

² Estudiante de Ingeniería Electrónica – Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador
Correo electrónico: jtoapantar@est.ups.edu.ec

Servicios Móviles Avanzados SMA, cada una de ellas usa el espectro radioeléctrico en bandas de frecuencias que han sido específicamente asignadas por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) según el Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador. [5] [6]

Se busca ocupar bandas libres asignadas para otros servicios, en este caso LTE en la banda de servicios móviles avanzados (AWS, siglas en inglés [7]) conocida como AWS 1700/2100 MHz para evaluar los espacios de frecuencia que no se encuentren asignados a una operadora, y se determina 1750MHz como frecuencia de trabajo para la transmisión de una señal con características de alta velocidad y baja latencia que es lo que hoy busca 5G y evaluar la eficiencia espectral con foco a la reutilización de frecuencias que existe para determinar si esta señal con alta velocidad se puede transmitir en una frecuencia que no está ocupada.

2. Definiciones y Técnicas

A. 5G para Sistema Móvil Avanzado

La cuarta generación de redes inalámbricas (4G) en la actualidad se encuentra en su máximo despliegue, pero se sabe que alcanzará rápidamente sus límites, esto a causa del incremento en las aplicaciones móviles y servicios de internet móvil por parte de los usuarios en conjunto con el aumento de dispositivos interconectados a la red móvil cuyos números se incrementarán exponencialmente con el pasar de los años. [8]

La tecnología 5G es varias veces mejor que 4G, ofreciendo varios beneficios a los usuarios justificando su potencial, como: escalabilidad y flexibilidad para el crecimiento de las redes, gestión de interferencias eficiente, tiempo de retardo de 1 milisegundo, acceso a internet a altas velocidades y velocidades de carga (10Gbps) y descarga (20Gbps) altas a comparación de tecnologías anteriores. [9]

Según ARCOTEL, Ecuador no puede quedarse atrás en la evolución mundial y se espera al 2019

para abordar el tema y se asigne espectro radioeléctrico para la implementación de 5G. [10] Para tener una noción clara del espectro radioeléctrico que se encuentra libre y en uso por cada Operadora de Servicio Móvil Avanzado (OSMA) en el Ecuador, se realiza un análisis de las bandas de frecuencias asignadas por ARCOTEL y por la extinta Secretaria Nacional de Telecomunicaciones SENATEL, en los diferentes acuerdos establecidos en resoluciones donde propiamente se especifica dichas bandas: 700MHz, 850MHz, AWS 1700/2100MHz, 1900MHz. [11] [12] [13]

B. OFDM

Esquema de modulación fundamental para estándares inalámbricos y de telecomunicaciones por sus múltiples sub-portadoras ortogonales que transportan el flujo de información y la facilidad para insertar tiempo de guarda a cada símbolo para combatir interferencias. Puede ser usado en procesamiento de señales digitales trabajando a velocidades realmente altas, con mayor capacidad de canal para transportar mayor información en el mismo ancho de banda para un mejor uso del espectro radioeléctrico. [14] [15]

OFDM posee características adecuadas para el entorno de radio móvil: La señal es resistente a la dispersión de tiempo por las sub-portadoras paralelas que permite mayor duración de los símbolos, las portadoras al ser ortogonales permiten separación de frecuencia estrecha y alta eficiencia espectral para transmitir mayor información por segundo y ancho de banda, insensible a error de adquisición de tiempo por la introducción de prefijos, la ecualización del canal es sencilla debido al proceso de desvanecimiento plano que experimentan los símbolos de datos transmitidos. [16]

C. Tipos de Modulación

Se conoce como modulación a la modificación y control de la información a transmitir, velocidad y ancho de banda que se va a utilizar, razón a lo cual

una modulación es esencial en los sistemas inalámbricos. Al optar por el orden de una modulación se debe tener en cuenta las condiciones de interferencia en las que se encuentra el sistema, de tal manera que si el usuario se encuentra lejos de la estación base y con mayor ruido necesita una modulación de orden bajo (QPSK) para trabajar con velocidades de 32Mbps con ancho de banda 20MHz y a su vez, al encontrarse cerca de la estación, se usa técnicas de mayor orden (16-QAM, 64-QAM) llegando a tener velocidades elevadas de 134Mbps con ancho de banda de 28MHz. [17]

QAM, modulación de amplitud en cuadratura, es una modulación digital donde se modifican dos portadoras desfasadas 90° entre sí, obteniendo una señal que posee las características de amplitud y fase de la señal transmitida. [18] Se usa QAM para conseguir una mayor eficiencia espectral, por lo cual se usa en módems telefónicos con velocidades mayores a 2400bps; transmisiones de televisión, microondas, satélites; y en módems con frecuencias de 24KHz y 1104KHz llegando a velocidades de 9Mbps. [17]

64-QAM resiste velocidades de transmisión mayores a 28Mbps por un canal de 6 MHz, es usado en la descarga de datos en redes con cable coaxial pero no en la carga ya que posee susceptibilidad al ruido mientras aumenta el orden de modulación, por lo tanto, para obtener una transmisión con un valor pequeño de ruido se necesita una señal a ruido grande y sistemas de detección más sensibles para distinguir los valores de amplitud y fase recibidos. [17]

3. Experimentación

La elaboración de los bloques de esta investigación se basa en una estructura de comunicación tradicional que es un sistema de transmisión y recepción, con la generación de la señal, codificación, multiplexación, modulación y técnicas de acceso al medio adaptando una frecuencia y diferentes velocidades de transmisión. Para el proceso se han tomado como referencia diferentes instrumentos virtuales (.vi)

independientes utilizado en diversos proyectos como: Implementación de un Sistema de Transmisión y Recepción Inalámbrica de Video [19] y Diseño de un Algoritmo para el Análisis y Monitoreo de Parámetros de Señales LTE 4G Utilizando la Plataforma de Radio Definido por Software (USRP) [20], de la misma forma se indagó sobre el uso de los USRPs [21] en la página oficial de LabVIEW para poder usar de forma correcta todo el recurso necesario del dispositivo.

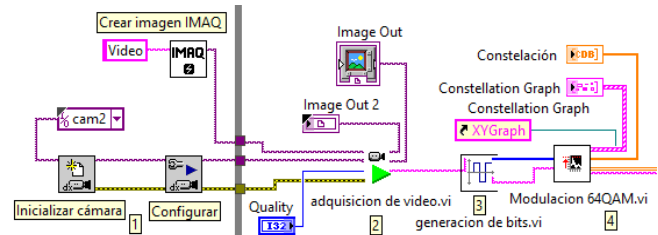


Figura 1. Diagrama de bloques para obtención de video, generación de bits y modulación en Tx.

La librería NI Vision Acquisition junto con el bloque NI-IMAQ, se usan de acuerdo a la Figura 1 para la adquisición del video mediante una cámara web del computador con su respectivo valor de resolución, el cual se especifica con un rango de 0 a 550píxeles (p). [22]

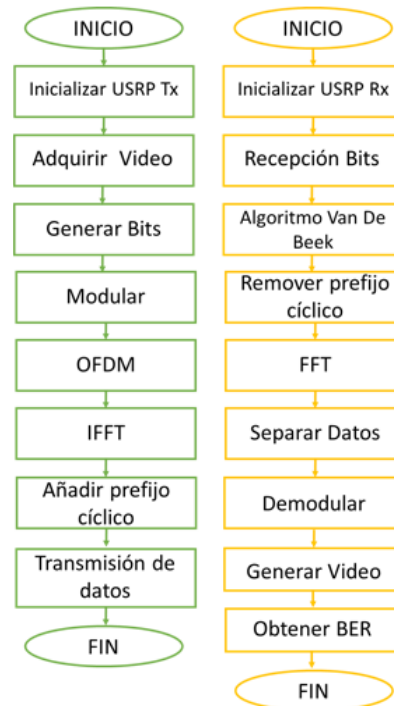


Figura 2. Flujogramas de transmisión (izquierda) y recepción (derecha).

Se aclara que la señal copia características de alta velocidad y baja latencia de una señal 5G y se trabaja con un transmisor y receptor mediante la técnica de modulación OFDM. Se realizó diagramas de bloques en una interfaz gráfica en LabVIEW según los flujogramas que se visualizan en la Figura 2.

En el transmisor y receptor se configura de manera simultánea el Dispositivo de Radio Definido por Software USRP y se especifica el dispositivo que detecta el ordenador para adquisición de video estableciendo una compresión JPEG debido a que se está obteniendo una imagen no binaria, se configura la frecuencia de portadora de 1,75GHz con la que se va a trabajar, ganancia de 10dB, el puerto de la antena activa que se utiliza, TX1 para la transmisión y RX2 para la recepción. Para realizar una comparación de la calidad de imagen según la velocidad a la que se transmite se varía la velocidad de transmisión en un rango de 20Mbps a 90Mbps con pasos de 20Mbps y a su vez la calidad o resolución de la imagen desde 0p a 550p con un intervalo de 50píxeles.

En el transmisor se genera bits para convertir la imagen de strings a bits y poder pasar con la modulación digital 64QAM para que los datos obtenidos se dividan en grupos de 6 bits por símbolo y generar 64 estados de modulación, se transporta información e inserta tiempo de guarda de 0,8 micro segundos para combatir interferencias con el bloque OFDM y añadiendo un prefijo cíclico de 800 nano segundos, se aplica la Transformada Inversa de Fourier para convertir datos complejos en una señal en el dominio del tiempo y de esta forma realizar la transmisión de datos. Es decir, el video adquirido desde la cámara web con una respectiva resolución de imagen y velocidad de transmisión es codificada, multiplexada y modulada para ser transmita en la banda AWS con frecuencia de 1750MHz.

En el receptor se realiza el proceso contrario del transmisor, se reciben los bits y se aplica el algoritmo Van De Beek para detectar el prefijo cíclico y removerlo, se ejecuta la Transformada de Fourier, se separa los datos y se procede a realizar la demodulación 64Q-AM para convertir los

símbolos a bits y los mismos se conviertan a strings. Es decir, la imagen transmitida anteriormente se demodula, demultiplexa y decodifica para observar cómo esta llega a su destino al trabajar con la frecuencia de 1750MHz de acuerdo a la calidad de imagen y velocidad con la que se transmitió y de esta manera evaluar la tasa de errores que existió en el proceso para determinar que sucede en la adaptación de señales con características 5G en bandas LTE.

4. Análisis de Resultados

Ecuador trabaja bajo el Plan Nacional de Frecuencias para establecer un adecuado uso del espectro radioeléctrico y se aplica la asignación según los servicios específicos de cada banda con las notas nacionales EQA. Para el uso de sistemas de Telecomunicaciones Móviles Internacionales IMT, se trabaja con la nota EQA.85 que abarca las bandas conocidas como: 700MHz, 850MHz, 1900MHz, AWS 1700/2100MHz y 2,5GHz. [23]

Con el uso del analizador de espectros y tomando en cuenta los informes de canalización de bandas y resoluciones de telecomunicaciones establecidas por el extinto Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) y el actual ARCOTEL se realizó un cuadro, Figura 3, para identificar como cada banda está conformada por bloques que fueron nombrados con letras mayúsculas consecutivas del abecedario para diferenciarlos y especificar qué bloque es usado para carga y descarga. Es decir, por ejemplo: A es usada para uplink y A' para downlink.

Se muestran bloques sin color señalando que se encuentran libres y bloques de color para identificar cada OSMA como CNT, CONECCEL y OTECEL. Por motivos de confidencialidad no se indican los nombres de las operadoras ni sus colores característicos, razón a lo cual se denominaron como *Operadora X*, *Operadora Y* y *Operadora Z* con colores rosado, anaranjado y verde respectivamente.

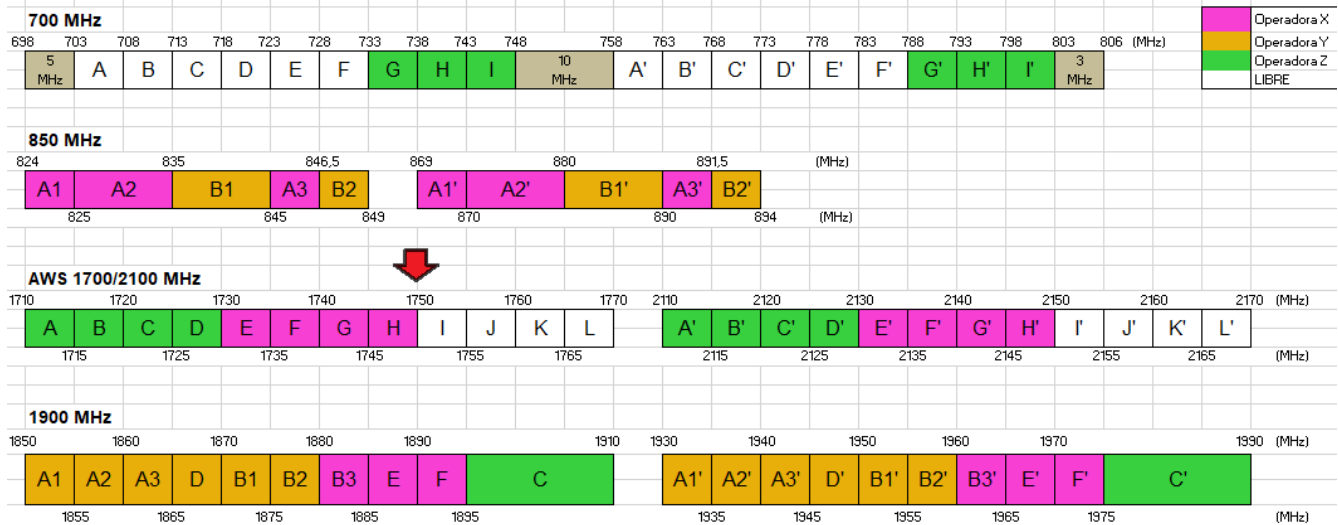


Figura 3. Canalización de bandas para el uso de sistemas de Telecomunicaciones Móviles Internacionales IMT.

La banda 700MHz (698MHz-806MHz) tiene un espectro libre de 30MHz con los bloques A-F para uplink y 30MHz con bloques A'-F' para downlink, es decir, 30MHz+30MHz disponibles para alguna asignación en el futuro como se observa en la Figura 3. Su espectro ocupado es de 15MHz+15MHz por la Operadora Z en los bloques G-I y G'-I'.

La banda 850MHz con límites de 824MHz a 894MHz, no posee bloques libres y el espectro en esta banda está ocupado y distribuido para dos OSMA de forma discontinua ya que fue la primera banda en ser adquirida por la zona 2 a la que pertenece el país. La Operadora X posee 12.5MHz para uplink y 12.5MHz para downlink en los bloques A1, A2, A3, A1', A2' y A3'; y la Operadora Y trabaja con 12.5MHz+12.5MHz pero en los bloques B1, B2, B1' y B2', imagen 3. Al tratar la banda 1900MHz (1850MHz – 1990MHz) se observa que está ocupada de forma continua por las tres OSMA del país que tienen asignaciones de frecuencias con bloques específicos y cabe recalcar que el rango de 1910MHz a 1930MHz es empleado por el servicio de telefonía fija razón a lo cual no se toma en cuenta en las bandas de sistemas IMT. La Operadora Y tiene un total de 30MHz+30MHz en los bloques A1, A2, A3, D, B1, B2 para uplink y A1', A2', A3', D', B1', B2' para downlink con frecuencias en MHz de 1850-1880 y 1930-1960; La Operadora X posee 15MHz+15MHz en B3, E,

F, B3', E' y F' con rangos de frecuencias en MHz de 1880-1895 y 1960-1975 ; y mientras tanto la Operadora Z trabaja en esta banda solo con los bloques C y C' de 15MHz cada uno con un rango en MHz de 1895-1910 y 1975-1990.

La banda AWS 1700/2100 MHz (1710MHz-1770MHz y 2110MHz-2170MHz) se puede dividir en tres partes con 20MHz+20MHz cada una, donde se posee cuatro bloques de 5MHz tanto para la Operadora Z (A-D, A'-D') como la Operadora X (E-H, E'-H') y de igual manera cuatro bloques de 5MHz con espectro libre (I-L, I'-L') para cualquier asignación en el futuro. El análisis de la eficiencia espectral se realiza en esta banda AWS en la frecuencia de 1750MHz que se encuentra en el límite del bloque H de la Operadora X y el bloque I que no posee asignación.

En la Figura 4, se observa una tabla donde se especifican las velocidades de transmisión en un rango de 20Mbps a 90Mbps, ancho de banda AB, frecuencia y velocidad de datos en muestras por segundo para poder diferenciar la tasa de error que existe a una determinada velocidad y calidad de imagen. Se sabe que el ancho de banda está directamente relacionado a la velocidad, es decir, para conseguir mayores velocidades de transmisión V_{tx} se necesita un ancho de banda elevado como es el caso de $V_{tx} = 20 \text{ Mbps}$ con $AB = 10 \text{ MHz}$ y

$V_{tx} = 90 \text{ Mbps}$ con $AB = 45 \text{ MHz}$ con una modulación digital 64QAM.

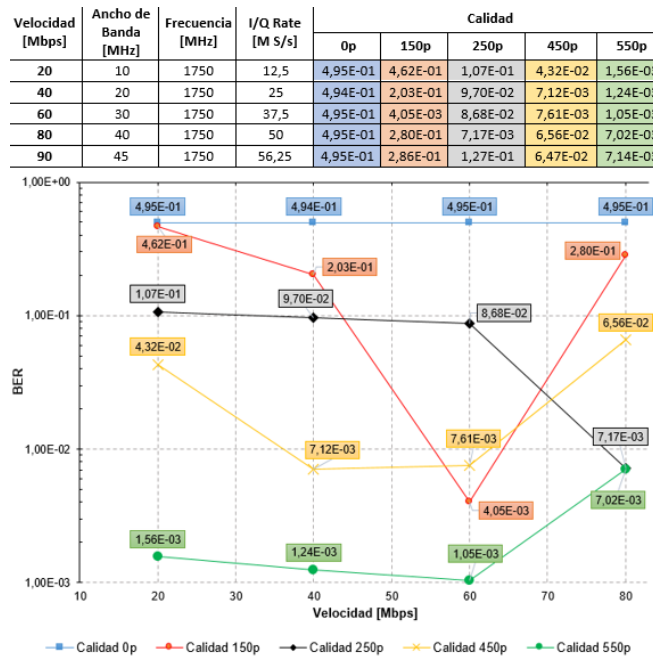


Figura 4. Gráfica de Velocidad vs BER según la Calidad de la imagen.

La Figura 4 muestra varias curvas de Velocidad de Transmisión VS Tasa de Error BER dependiendo de la calidad de imagen con la que se transmite el video. Al trabajar con velocidades de 20Mbps a 90Mbps y con una calidad de imagen de 0p se encuentra un BER constante de $4,95E-01$ debido a que la imagen llega de forma distorsionada. Al trabajar con una calidad de imagen de 150p se obtiene una curva con picos notorios ya que la tasa de error se reduce de $4,6E-01$ con V_{tx} de 20Mbps a $4,05E-03$ con V_{tx} de 60Mbps, se observa que al aumentar la velocidad a 80Mbps el error crece a $2,80E-01$, esto se produce debido al retraso de la recepción del video por al procesamiento del equipo. Cuando la calidad de la imagen es de 250p la curva no varía mucho al trabajar con velocidades de transmisión de 20 a 60Mbps obteniendo tasas de error de $1,07E-01$ a $8,68E-02$ pero disminuye significativamente a $7,17E-03$ al trabajar con una velocidad de 80Mbps. Con una calidad de imagen de 450p se tiene una tasa de error menor $4,32E-02$ a una V_{tx} 20Mbps con respecto a calidades más bajas y del mismo modo la tasa disminuye al trabajar con V_{tx} 40Mbps y a partir de este punto al aumentar la velocidad aumenta la tasa de error encontrada en la recepción. Por último se

trabaja con una calidad de imagen de 550p que representa los valores más bajos en BER con respecto a las calidades anteriores, empieza con una tasa de error de $1,56E-03$ con V_{tx} 20Mbps hasta $1,05E-03$ con V_{tx} 60Mbps, pero su tasa se incrementa a $7,02E-03$ con V_{tx} de 80Mbps.

Se diferencia que a partir de la velocidad de transmisión de 60Mbps, el BER para cualquier valor de resolución de imagen crece al trabajar con velocidades superiores a la misma, obteniendo un mal comportamiento de la señal dentro del canal ya sea con un video distorsionado o una tasa de error elevada, concluyendo que el canal con estructura de comunicación tradicional no permite usar señales con velocidades mayores a 60Mbps, por ende señales 5G no pueden adaptarse con OFDM, ya que una señal 5G debería trabajar con velocidades de al menos 10 Giga bps.

En la Figura 5, se aprecia los diagramas de constelaciones tomados a una velocidad de 60Mbps con una calidad de imagen de 550p, obtenidos en la transmisión y recepción, resultado de la modulación y demodulación digital 64-QAM. Se puede diferenciar al diagrama de recepción con el de transmisión ya que este no consta con los 64 arreglos propios de esta modulación, debido a que existe una pérdida de bits en el proceso de comunicación tradicional y se expresa en la tasa de error de $1,05 \times 10^{-3}$ en la recepción.

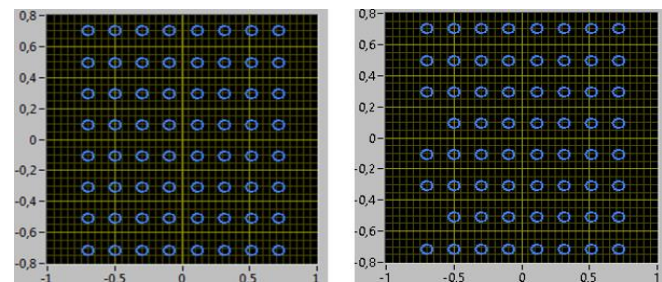


Figura 5. Diagrama de constelación 64-QAM en transmisión (izquierda) y recepción (derecha).

En la Figura 6, se puede diferenciar la resolución de las imágenes receptadas después de pasar por un proceso de transmisión y recepción de video a través de una modulación OFDM implementada en LabVIEW con ganancia de 10dB y una frecuencia de portador de 1750MHz. Se diferencian cuatro

valores de calidad específicos, donde se puede apreciar que al realizar una transmisión con una calidad alta se obtiene una recepción con menos errores a comparación de realizarla con calidades pequeñas. Las imágenes con calidades de resolución de 450p y 550p no varían a simple vista al trabajar con una velocidad de transmisión de 60Mbps debido a que aún no presenta problemas de retardo de video por capacidad del canal o espectro limitado.



Figura 6. Imagen transmitida e imágenes receptadas según la calidad de resolución.

5. Conclusiones

Una vez concluida la investigación e identificadas las bandas de frecuencias libres en el espectro radioeléctrico para LTE otorgados por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, no se logró altas velocidades de transmisión lo cual es una característica de 5G, ya que al ir incrementando la velocidad de transmisión en valores mayores a 80Mbps se obtiene un aumento en la tasa de errores, estos se presentan por problemas de capacidad del canal, por un gran porcentaje de abonados móviles y un espectro de frecuencia limitado, las velocidades de datos son bajas por el mismo hecho de que un mayor número de usuarios utilizan el espectro disponible, lo cual se evidencia en problemas como congestión de la red, aumento de latencia. OFDM en estos bloques de espectro radioeléctrico que se encuentran libres no ayudó a adaptar una señal 5G de altas velocidades ya que en el Ecuador como en

la mayoría de los países de la región, se usa la red LTE de categoría 3, que no supera los 100 Mbps de velocidad, esta es una cifra teórica pues en la realidad este valor fue mucho menor, como se pudo comprobar en esta investigación.

6. Referencias

- [1] Registros Administrativos ARCOTEL, «Líneas Activas por Tecnología,» Mayo 2018. [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>. [Último acceso: Junio 2018].
- [2] I. Poole, «OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing Tutorial,» Resources and analysis for electronics engineers, [En línea]. Available: <https://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/ofdm/ofdm-basics-tutorial.php>. [Último acceso: Junio 2018].
- [3] I. Poole, «LTE OFDM, OFDMA SC-FDMA & Modulation,» Resources and analysis for electronics engineers, [En línea]. Available: <https://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/lte-ofdm-ofdma-scfdma.php>. [Último acceso: Junio 2018].
- [4] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, «Plan Nacional de Frecuencias Ecuador,» Abril 2017. [En línea]. Available: http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/ANEXO-1_DOCUMENTO-PNF..pdf.
- [5] ARCOTEL, «Informe de Canalización de las Bandas de 900 MHZ y AWS,» Quito, 2017.
- [6] L. Palacios, «Diseño y desarrollo de un inhibidor de señal celular para tecnología LTE/4G en el rango de los 1900Mhz.,» Septiembre 2016. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13354>.
- [7] Federal Communications Commission, «Advanced Wireless Services (AWS) - Wireless Services,» Abril 2017. [En línea].

- Available:
<https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/broadband-division/advanced-wireless-services-aws>.
- [8] J.-B. Doré, R. Gerzaguet, N. Cassiau y D. Ktésas, «Waveform contenders for 5G: Description, analysis and comparison,» *Physical Communication*, n° 24, pp. 46-61, 30 Mayo 2017.
 - [9] A. Medeiros, C. Garcia, J. Ramos de Castilho, M. Antonio de Souza y M. Lívio de Oliveira, «The Fifth Generation of Mobile Communication and Its Applications on The Internet of Things (IoT),» de *2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*, Pucon, Chile, 2017.
 - [10] EL UNIVERSO, *Llegada de la red 5G a Ecuador se definirá en el 2019*, 3 Septiembre 2018.
 - [11] Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL, «RESOLUCIÓN-TEL-138-04-CONATEL-2015, ASIGNACIÓN FRECUENCIAS ESENCIALES 1900 MHZ Y LTE CONECCEL Y OTECEL,» Quito.
 - [12] Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL, «RESOLUCIÓN-TEL-138-04-CONATEL-2015, ASIGNACIÓN FRECUENCIAS ESENCIALES 1900 MHZ Y LTE CONECCEL Y OTECEL FE DE ERRATAS,» Quito.
 - [13] Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL, «RESOLUCIÓN TEL-804-29-CONATEL-2012, ADOPTAR ESQUEMA SEGMENTACIÓN BANDAS LTE,» Quito.
 - [14] Electronics Notes, «What is Multicarrier Modulation,» [En línea]. Available: <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/multicarrier-modulation/basics-techniques.php>. [Último acceso: Julio 2018].
 - [15] 3GPP, «OFDM Fundamentals,» de *Release 6*, vol. 6, 2004, pp. 9-10.
 - [16] 3GPP, «OFDM for Mobile Systems,» de *Release 6*, 2004, pp. 8,11-18.
 - [17] C. Mora y X. López, «ANÁLISIS DE TÉCNICAS DE MODULACIÓN ADAPTIVA EN REDES INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA (IEEE 802.16, WIMAX),» 2006. [En línea]. Available: http://profesores.fi-b.unam.mx/victor/LTesis_Ximema_Christian.pdf. [Último acceso: 2018].
 - [18] I. Hernández, «Modulación QAM,» [En línea]. Available: <http://aholab.ehu.es/users/inma/psc/tema3.pdf>. [Último acceso: 2018].
 - [19] M. Samaniego, «IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN INALÁMBRICA DE VIDEO BASADO EN OFDM CON MULTIPORTADORA UTILIZANDO USRP,» Guayaquil, 2016.
 - [20] L. Bolaños y A. Ruiz, «Diseño de un algoritmo para el análisis y monitoreo de parámetros de señales LTE 4G utilizando la plataforma de radio definido por software (USRP),» Guayaquil, 2015.
 - [21] National Instruments, «Software Defined Radio,» 27 Enero 2017. [En línea]. Available: <https://forums.ni.com/t5/Software-Defined-Radio/Streaming-OFDM-Transmitter-and-Receiver/ta-p/3491402>. [Último acceso: 2018].
 - [22] National Instrument, «IMAQ,» Junio 2003. [En línea]. Available: <ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/Vision%20de%20Maquina/Manuales/NI-IMAQ%20User%20Manual.pdf>.
 - [23] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, «Plan Nacional de Frecuencias,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/PlanNacionaldeFrecuencias.pdf>.